

УДК 621.791

А.Г. Гринь, канд.техн.наук, доц., А.В. Свиридов, инж.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г.Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СВАРНЫХ ШВАХ НА МЕДНОЙ ОСНОВЕ, НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

У даній роботі виконане дослідження структурно - фазового состава неметалевих включень у металі звареного шва на мідній основі, виконаного зварювальними матеріалами різної підготовки, та показан вплив їх на механічні властивості зварного з'єднання.

In the given operation probe structurally - phase composition of nonmetallics in weld metal on the copper base, executed by welding materials of various opening-up and their influence on mechanical properties of a welded connection is executed.

Одним из характерных процессов, протекающих при сварке плавлением меди, является интенсивное ее окисление. Медь, обладает способностью растворять то или иное количество кислорода. Растворимость его в жидкой фазе больше, чем в твердой, и увеличивается с повышением температуры. Термодинамический анализ показывает, что любые малые концентрации кислорода в газовой фазе при сварке меди приводят к окислению жидкой меди, вследствие чего ни одна из разновидностей электродуговой сварки не позволяет избежать окисления металла шва[1-3]. Поглощенный кислород может находиться в металле в растворенном состоянии, в виде растворимых оксидов либо в виде свободных нерастворимых оксидов.

Для предотвращения вредного влияния кислорода в металл сварочной ванны вводят элементы раскислители, обладающие большим сродством к кислороду. Раскислители, реагируя с растворенным кислородом, образуют жидкие, твердые или газообразные соединения – оксиды, не растворимые или растворимые в металле, которые с той или иной степенью полноты удаляются из металла.

Остающиеся в закристаллизовавшемся металле продукты раскисления в виде неметаллических включений – одна из наиболее распространенных причин загрязнения наплавленного металла. Известно [4,5], что вокруг неметаллических включений в закристаллизовавшемся металле сварного шва возникают области напряженного состояния. Наличие напряжений обусловлено упругим взаимодействием включений с матрицей, а также термическим сжатием при охлаждении металла, в результате которого максимальные напряжения могут, превысить значения предела текучести. Поэтому образовавшиеся неметаллические включения являются концентраторами напряжений, что способствует снижению механических свойств и других эксплуатационных характеристик сварного соединения, в первую очередь при циклическом нагружении.

Следовательно, снижение содержания неметаллических включений в металле сварного шва можно добиться за счет интенсификации процессов удаления продуктов раскисления, что особенно актуально при весьма ограниченном времени существования сварочной ванны на основе меди и исключения внесения примесей экзогенного типа.

Целью данной работы является исследование структурно - фазового состава неметаллических включений в металле сварного шва, выполненного сварочными материалами различной подготовки и влияние их на механические свойства сварного соединения.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования количественной и качественной оценки неметаллических включений металла сварного шва выполненного при сварке пластин размером $8 \times 100 \times 250$ мм на меди марки М1, прессованными порошковыми проволоками диаметром $d = 8$ мм, и с последующей прокаткой до диаметра $d = 5$ мм, [6].

Для формирования обратной стороны шва использовали самоклеющуюся ленту.

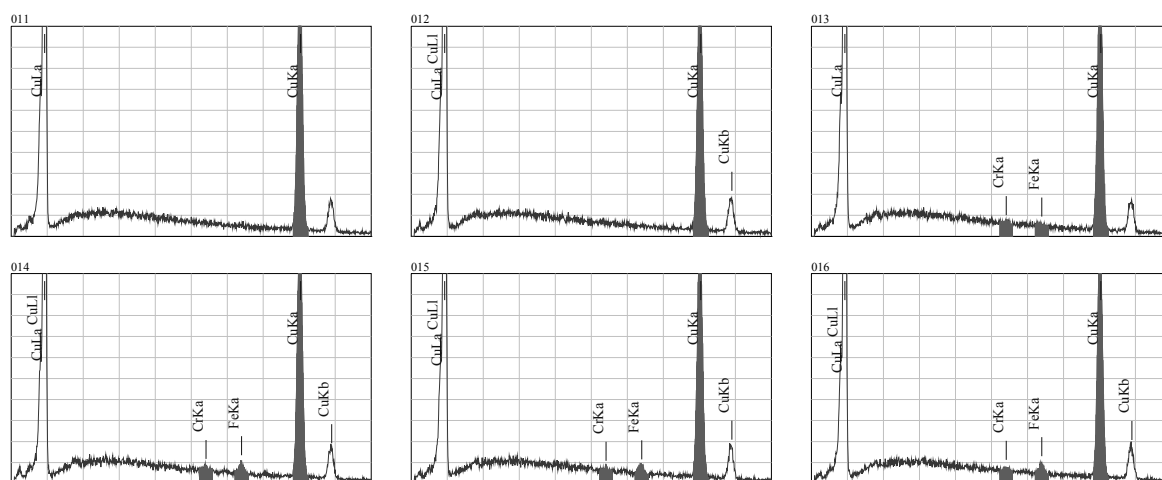
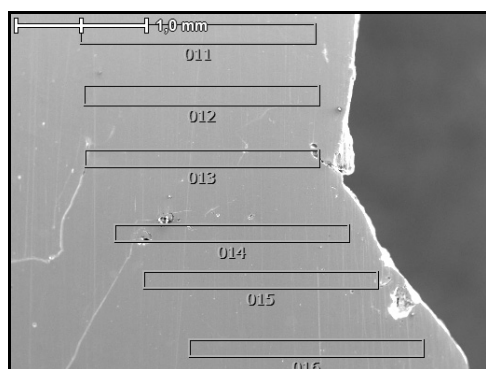
Режим сварки проволокой диаметром 5 мм: $I_{св} = 550 - 620$ А; $U_d = 28 - 32$ В; $V_{св} = 16,5$ м/ч; проволокой диаметром 8 мм: $I_{св} = 750 - 800$ А; $U_d = 30 - 34$ В; $V_{св} = 18$ м/ч.

Во всех случаях ток постоянный, полярность обратная. Источник питания – выпрямитель ВДУ-1000, сварочный автомат А1416. Перед сваркой произвели прокатку проволок при температуре 200°C в течении 2ч.

Для исследований неметаллических включений в металле сварного шва осуществляли микрорентгеноспектральный анализ на шлифах, полированных без травления и травленных в реактиве следующего состава: водный раствор соляной кислоты с добавлением хлористого железа в соотношении: вода 100 мл; $\text{HCl} - 30$ мл; $\text{FeCl}_2 - 30$ мл. Время травления во всех случаях составило 30-40 секунд. Химический микроанализ основных структурных составляющих материала сварного шва выполняли на растровом электронном микроскопе JSM 6360LA, оснащенном системой рентгеноспектрального энергодисперсионного микроанализа (PCMA) JED 2200,

производства японской фирмы JEOL. Работу выполнили при ускоряющем напряжении 15 кВ и диаметре электронного зонда 4 нм, при этом диаметр зоны возбуждения рентгеновского излучения составлял порядка 2 мкм. Микроанализ выполняли с поверхности травленного и нетравленного шлифа методом записи интенсивности характеристического рентгеновского излучения анализируемых химических элементов в определенных точках (рис.1) и вдоль траектории сканирования.

Определение состава фаз проведено безэталонным методом расчета фундаментальных параметров: расчетом поправочных коэффициентов отражения электронов зонда, поглощения характеристического рентгеновского излучения и флуоресценции. Черно-белые изображения поверхности шлифов получены во вторичных электронах (рис.2). Определение локального состава фаз выполнено на участках, отмеченных маркерами на изображениях шлифов под соответствующими номерами, для которых представлены характеристические спектры и результаты расчета состава.



б

Рис. 1. Места определения точечного химического анализа включений в металле сварного шва:

а) электронная микрофотография образца в зоне перехода от основного металла к металлу шва с выделенными местами анализа (маркеры); б) спектрограммы анализируемых мест

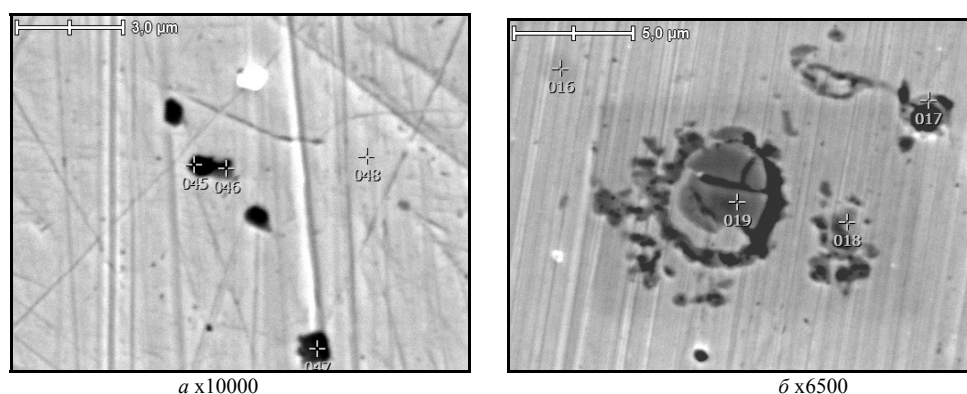
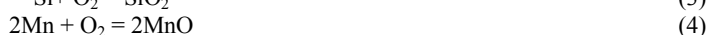
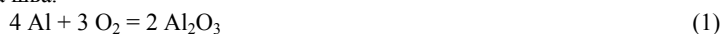


Рис. 2. Результаты РСМА, выявленных неметаллических включений в металле шва, выполненного прессованной порошковой проволокой: а) d = 5 мм; б) d = 8 мм

С применением микрорентгеноспектрального анализа определяли химический состав включений в различных участках металла шва выполненного проволоками различных диаметров. Содержание включений в металле шва определяли в массовых процентах. По границам сплавления основного и наплавленного металла неметаллических включений не выявлено. В металле сварного шва, неметаллические включения состоят из оксидов алюминия Al_2O_3 , железа Fe_2O_3 , марганца MnO , единичных силикатов SiO_2 . Образования которых происходит по схеме (1-4), распределенных равномерно по объему металла шва.



Обнаруженные включения имеют вид глобулей, которые равномерно распределены в матричном растворе металла шва, некоторые из них обладают светимостью в поляризованном свете. При сварке прессованной порошковой проволокой диаметром 5 мм выявлены включения диаметром 0,3 – 2,5 мкм, при сварке проволокой диаметром 8 мм размер включений составляет 3,5 – 5,5 мкм. Обнаруженные включения в металле шва, не превышают размеров 1 балла по ГОСТ 1778 - 70. Оценку типа включений по микротвердости не проводили, ввиду их малых геометрических размеров. Эвтектика Cu-Cu₂O в сварных швах не обнаружена, что свидетельствует о хорошей раскисленности сварочной ванны.

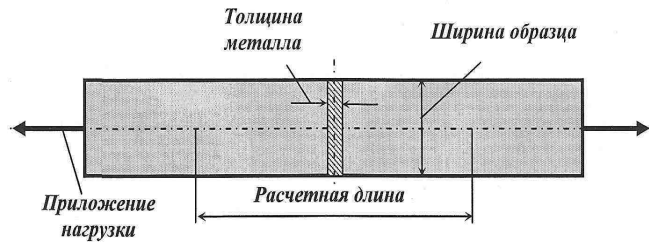


Рис. 3. Плоский образец без головок для захватов разрывной машины

сечении 5×10 мм, общая длина образца составила 200 мм, расчетная длина 100 мм.

Испытания на растяжение образцов изготовленных из сварных соединений, показали, что их разрушение происходит по околошовной зоне в результате разупрочнения основного металла в процессе сварки, рис.4.

Графическая интерпретация результатов исследований представлена на рис.5

Как видно из результатов исследований использование прессованной порошковой



Рис. 4. Образцы после испытаний на растяжение

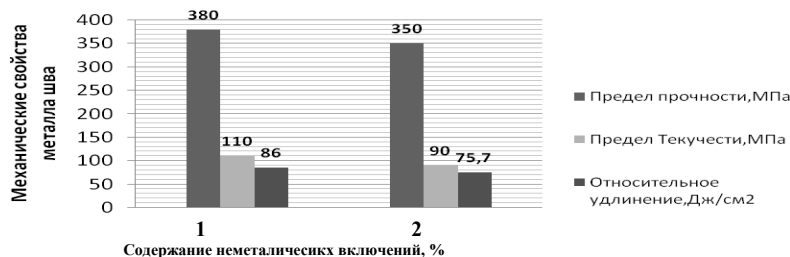


Рис. 5. Влияние неметаллических включений в металле сварных швов, выполненных проволоками различного диаметра, на механические свойства сварных соединений: 1) 1,2%, содержание неметаллических включений в металле шва выполненного прессованной порошковой проволокой d = 5мм; 2) 3,5%, содержание неметаллических включений в металле шва выполненного прессованной порошковой проволокой d = 8мм

значения стандартных механических свойств металла шва: ударной вязкости на 12%, относительного удлинения на 9%, предела текучести на 8%, предела прочности на 10%.

Выводы

1. Применение прессованной порошковой проволоки диаметром 5 мм подверженной последующему уплотнению, $\epsilon = 45\%$, в сравнении с проволокой диаметром 8 мм, позволяет уменьшить химическую и структурную неоднородность сварного шва, минимизировать содержание неметаллических включений в шве до 1,2 %.

2. Уменьшение содержания неметаллических включений, их глобулизация, уменьшение размеров, равномерное распределение по сечению металла шва обеспечили повышению показателей механических свойств металла шва: относительного удлинения на 9%, предела текучести на 8%, предела прочности на 10%.

Список литературы

1. Порошковые проволоки для электродуговой сварки. Каталог справочник / Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н., и др. – К.: Наукова думка, 1980. – 180 с.
2. Гавров Е.В., Александров О.А. Расчет и изготовление композитных проволок для механизированной сварки и наплавки медных сплавов. – В кн.: Наплавка износостойких и жаропрочных сплавов. Наплавочные материалы / Под Ред. И.И. Фрумина – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1983. – С. 101 – 104.
3. Гончаров А.Н. и др. Влияние добавок легирующих элементов на свариваемость меди / А.Н.Гончаров, В.Е. Кривошеев // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. – Киев, 1980. – С.27-28.
4. Явойский В.И., Рубенчик Ю.И. Оценко А.П. Неметаллические включения и свойства стали. – М.: Металлургия, 1980. – 176 с.
5. Губенко С. И. Трансформация неметаллических включений в стали. – М.: Металлургия, 1991., – 224 с.
6. Гринь А.Г., Свиридов А.В. Разработка прессованной порошковой проволоки для сварки меди. / Вісник ДДМА, збірник наукових праць, №3(5)-2006 – С. 48-52.

проволоки диаметром 5 мм изготовленной с последующей прокаткой ($\epsilon = 45\%$), в сравнении с проволокой диаметром 8 мм, позволяет уменьшить содержание неметаллических включений в металле шва на 45%, обеспечивая образование в шве преимущественно более благоприятной глобулярной формы.

Таким образом, уменьшение диаметра порошковой проволоки до 5 мм, позволяет повысить средние